

# 비트리파이드 본드 CBN 휠의 연삭특성

원종호<sup>\*</sup>(충남대 기계공학과), 김건희<sup>\*\*</sup>(기초과학지원연구소), 박상진<sup>\*\*\*</sup>, 안병민<sup>\*\*\*</sup>(충남대 대학원 기계공학과)

## Grinding Characteristics of Vitrified-bond CBN Wheel

Jong - Ho Won<sup>\*</sup>, Gun-hee Kim<sup>\*\*</sup>, Sang-jin Park<sup>\*\*\*</sup>, Byoung - Min An<sup>\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

Ultra-abrasives such as diamond and CBN have used to maintain accuracy and form deviation for superalloy etc. This study contains the dry cylindrical grinding of metals with Vitrified-bond CBN wheel. For various conditions of grinding speed, workpiece speed, grinding depth and feed speed of table, the grinding resistance, the surface roughness, and the material removal are measured and discussed. The results are as follows.

**Key Words :** CBN(입방정질화붕소), Vitrified-bond(비트리파이드 본드), Wheel speed(연삭속도), Grinding force(연삭저항), Surface roughness(표면 거칠기), Material removal rate(금속제거율) A(Depth of cut), Fn(The normal grinding resistance), Ft(The tangential grinding resistance), F(The feed of table), Vw(Wheel speed)

### 1. 서론

석기시대로부터 시작한 연삭은 많은 발전을 거듭하여 오늘날에 이르게 되었다. 최근에 산업이 발달됨에 따라 각종기계의 중심을 이루는 기계부품 들은 고급화되어 그 강도나 경도가 매우 높은 합금을 많이 사용하고 있다.

이러한 재료들은 일반적인 절삭가공에서는 불가능하고, 주로 연삭을 해야만 한다.<sup>1)</sup>

선진국에서는 초연마제(super abrasive)라 할 수 있는 다이아몬드와 CBN을 60년대 후반부터 합성하여 연삭분야에 본격적으로 이용하기 시작하였는데 이중 특히 CBN(Cubic Boron Nitride)은 고경도 이면서 열전달율이 높아 입자의 작은 절삭날이 마모되지 않고, 절삭날을 잘 유지하므로 매우 양호한 절삭을 할 수가 있다. 또한 CBN 연삭은 정밀기계류, 항공기, 컴퓨터, 자동차 등 첨단기기 부품의 고기능화에 따른 제품의 고정밀화가 보편화되고 있는 실정이고, 국내의 기계공업 및 자동차 공업에 있어서도 제품의 경쟁력 재고를 위하여 정밀가공의 필요성이 무엇보다도 요구되고 있다.

이러한 연삭을 통하여 요구되는 형상 및 정밀도, 우수한 표면 조도와 높은 생산성을 보장하기 위해서는 연삭공구의 품질이 가장 중요한 관건이라 할 수 있다.<sup>2,3)</sup>

따라서 연삭작업에 있어서 요구되는 가공능률과 가공정밀도를 얻기 위해서는 적절한 결합도를 가진 연삭숫돌을 선택하는 것이 중요한 요건이 된다.

세라믹 본드라고도 불리는 비트리파이드 본드(Vitrified-bond)는 다공성 구조로서 재생효과가 좋아 금속제거율을 향상시킬 수가 있다.

따라서 본 연구에서는 CBN 휠 즉, 비트리파이드 본드를 이용하여 6가지의 금속 즉, 금형강(STD11), 베어링강(STB1), 스테인레스강(STS 304), 주강(SC360), 탄소강(SM20C), 탄소공구강(STC7)을 연삭가공하는데 있어서 어떠한 영향을 주는지에 대하여 연구하였다..

연삭속도가 가공에 많은 영향을 준다는데 초점을 두고 연삭깊이, 테이블 이송속도를 주요 변수로 하였으며, 연삭저항, 표면 거칠기, 금속 제거량을 통하여 공작물에 어떠한 영향을 미치는지를 조사함으로써 금형강, 베어링강,

스테인레스강, 주강, 탄소강, 탄소공구강에 대한 최적연삭조건을 찾는 데 목적으로 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에서는 횡방향 원통연삭기를 사용하여 원통 연삭을 수행하였으며, 연삭휠은 비트리파이트 본드 CBN(B126 VSS R V180)을 사용하였다.

본 실험은 1회 왕복 가공에서 접선연삭저항, 법선연삭저항 2가지를 동시에 측정할 수 있도록 고안하였다. Fig. 1은 연삭측정장치의 구성도를 보여준다. 연삭속도는 연삭기 자체에 고정되어 있으므로 전원 중간에 인버터(LGIS, SV-IG)를 설치하여 제어하였다.

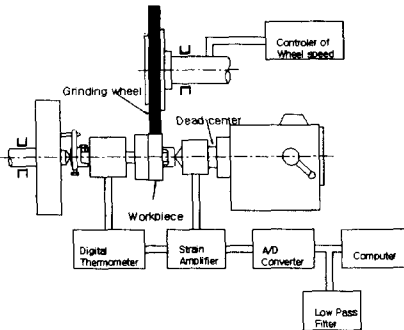


Fig. 1 Block diagram of grinding measuring device

각각의 공작물에 대한 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical comparisons and mechanical properties of specimens

Chemical comparison					
	C	Si	Mn	P	S
STD11	1.48	0.29	0.38	0.02	0.030
STB1	0.97	0.24	0.36	0.02	0.021
STS304	0.07	0.52	1.38	0.03	0.020
SC360	0.15	0.24	0.34	0.04	0.036
SM20C	0.19	0.15	0.47	0.03	0.031
STC7	0.68	0.32	0.38	0.02	0.025
Mechanical Property					
	$H_v$ (Kg/mm <sup>2</sup> )		T.S (Kg/mm <sup>2</sup> )		E(%)
STD11	242		72		32
STB1	227		48		30
STS304	237		53		40
SC360	252		37		26
SM20C	223		41		28
STC7	198		46		31

연삭저항 측정장치는 Fig. 2에서 보여준다. 이것은 심압대 초경센터의 원주이면 끝부분에 R1, R2와 R3, R4 그리고 R5, R6과 R7, R8이 대칭이 되도록 휘스톤 브릿지(Wheatstone bridge)로 8개의 스트레인 게이지(Type CEA-06-062 UW-350)를 2개의 풀 브리지(Full bridge)로 부착하였다.<sup>1)</sup>

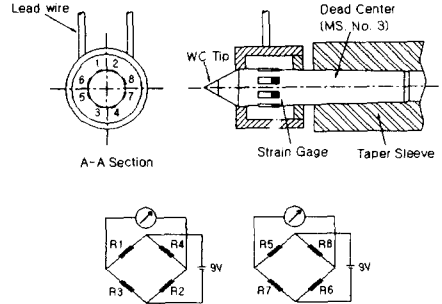


Fig. 2 Grinding force measuring devices

표면거칠기는 가공중에 측정이 곤란하므로 연삭이 끝난 후에 공작물을 떼어내어 표면조도기(Mitutoyo surfst-211, cutoff length : 0.8 $\mu$ m)로 측정하였고, 값은 중심선 평균 표면거칠기( $R_a$ ,  $\mu$ m)값으로 하였다.

### 2.2 실험방법

연삭은 상향연삭(up-grinding)을 하였으며, 최초 기준면은 연삭깊이 5mm로 1회 왕복한 후 스파크 아웃(spark out)시켰다. 연삭저항은 테이블이 1/2회 왕복하는 동안에 측정되었으며, 표면거칠기는 1회 왕복 후 측정하였다. 측정값을 가지고 로우 패스 필터(loss pass filter)하여 분석하였다.

Table 2 Experimental condition

Type of grinding	Cylindrical traverse of dry grinding
Wheel	V-B CBN (B126 VSS R V180, 400 $\times$ 20 $\times$ 127)
Wheel speed	30, 40, 50, 60(m/sec)
Workpiece	20(m/min)
Table speed	1.0, 1.5, 2, 3(mm/sec)
Depth of cut	5, 10, 15( $\mu$ m)
Diameter of workpiece	51~53(mm)

CBN 휠은 마멸이 잘 안되기 때문에 매회 드레싱(dressing)이 필요 없으나, 눈 매움(loadin

g)현상이 나타날 때는 연삭숫돌스틱(WA stick, 13 × 24 × 100mm)으로 회전하는 연삭휠에 가 법계 누르면서 접촉시켜 드레싱하였다.

Table 2는 실험조건과 CBN 휠 규격에 대하여 나타내고 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 CBN 휠의 연삭저항에 대한 고찰

Fig. 3 ~ Fig. 6은 테이블 이송속도, 연삭속도, 연삭깊이에 대한 연삭저항의 관계를 보여 주고 있다.

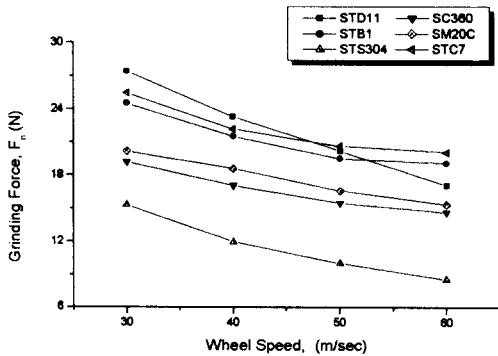


Fig. 3 Relation between normal grinding force and Wheel speed with vitrified-bond CBN (A:5 $\mu$ m, F:1mm/sec)

Fig. 3은 각각 6가지 공작물의 연삭속도에 대한 법선연삭저항을 보여주고 있다. 연삭속도가 증가함에 따라 연삭저항은 감소함을 알 수가 있다. 이것은 연삭속도가 증가되면 CBN 휠의 숫돌입자 한 개당 연삭깊이가 작아지기 때문에 연삭저항이 감소된다고 할 수 있다.

STD11(금형강)과 STS304(스테인레스강)는 계속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 나머지 4 종류의 공작물에서는 연삭저항의 감소 폭이 다소 줄어들고 있음을 알 수 있다. 휠 속도 60m/sec 일 때, STD11은 17.052N, STB1은 19.0806N, STS304는 8.5358N, SC360은 14.6415N, SM20C는 15.3272N, STC7은 20.0606N이다.

Fig. 4는 연삭속도에 대한 접선연삭저항을 보여주고 있다. Fig. 4의 접선연삭저항을 보면 Fig. 3의 법선연삭저항과 비슷한 경향을 보인다. 공작물 회전속도를 20m/min으로 고정된 본 실험에서 법선연삭저항과 접선연삭저항을

살펴보면 다음과 같다.

피트리파이드 휠 속도 30m/sec에서 각각의 연삭저항을 살펴보면, 법선연삭저항에서는 STD11, STS7, STB1, SM20C, SC360, STS304의 순으로 되지만, 접선연삭저항에서는 STS7, STB1, SM20C, SC360, STD11, STS304의 순이다.

이러한 차이를 보이는 것은 각 공작물 재질의 기계적 성질과 화학적 성분의 차이로 사료된다. 여기에서 휠 속도 60m/sec 일 때, STD11은 8.2908N, STB1은 8.4868N, STS304는 4.753N, SC360은 5.8212N, SM20C는 6.8208N, STC7은 9.6530N이다.

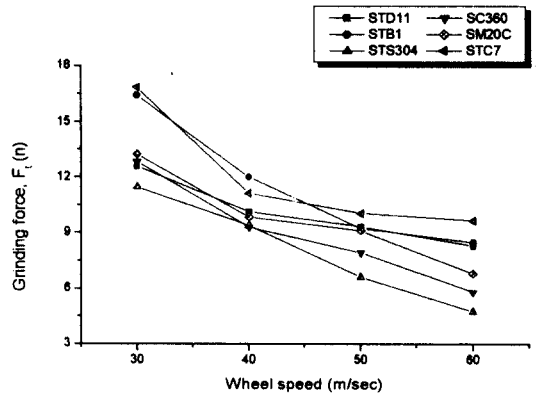


Fig. 4 Relation between tangential grinding force and Wheel speed with vitrified-bond CBN (A:5 $\mu$ m, F:1mm/sec)

Fig. 5 ~ Fig. 6은 연삭깊이와 연삭저항과의 관계를 나타내고 있다. 연삭깊이가 증가함에 따라 연삭저항은 증가함을 알 수가 있다. 그 이유는 연삭깊이가 증가하게 되면 연삭저항은 연삭 칩 길이가 길어지기 때문에 연삭저항이 증가되는 것으로 사료된다.

Fig. 5에서는 휠 속도를 50m/sec, 공작물 이송속도를 1.0mm/sec로 하였을 때의 법선 연삭저항 그래프이다.

Fig. 5에서 STS304를 제외한 5가지 공작물은 연삭깊이가 증가할수록 연삭저항이 완만히 증가하는 반면에 STS304는 연삭깊이 10 $\mu$ m에서 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이것은 STS304의 특성으로 인한 것으로 사료된다. 여기에서 연삭깊이가 5 $\mu$ m일 때, 연삭저항 STD11은 17.9732N, STB1은 17.64N, STS304는 8.5358N, SC360은 14.4844N, SM20C는 15.5526N, STC7은 18.5328N이다.

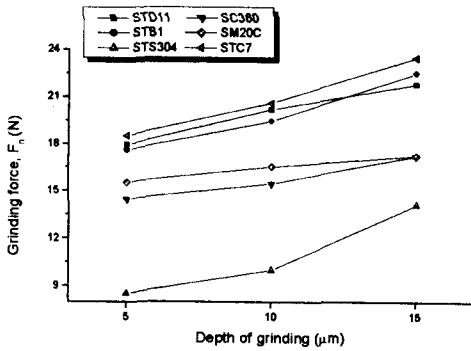


Fig. 5 Relation between normal grinding force and Depth of grinding with vitrified-bond CBN ( $V_w:50\text{m/sec}$ ,  $F:1.0\text{mm/sec}$ )

Fig. 6는 휠 속도를 50m/sec, 연삭깊이를 10 $\mu\text{m}$ 로 하였을 때의 법선연삭저항 그래프이다. 테이블 이송속도가 증가할수록 법선연삭저항이 급격히 증가함을 보이다가, 이송속도가 2.0mm/sec 이후로는 연삭저항의 증가율이 감소하거나 2.0mm/sec 보다 연삭저항이 떨어지는 경향을 보인다. 이것은 비트리파이드 휠의 강성으로 인하여 연삭저항이 감소하는 것으로 사료된다. 여기에서 연삭깊이가 10 $\mu\text{m}$ 일 때, 연삭저항 STD11은 17.9732N, STB1은 17.64N, STS304는 8.5358N, SC360은 14.4844N, SM20C는 15.526N, STC7은 18.5328N이다.

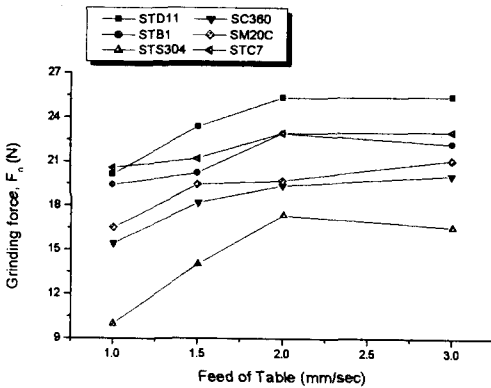


Fig. 6 Relation between normal grinding force and Feed of table with vitrified-bond CBN ( $V_w:50\text{m/sec}$ ,  $A:10\mu\text{m}$ )

### 3.2 CBN 휠의 표면거칠기에 대한 고찰

Fig. 7 ~ Fig. 9는 연삭속도, 연삭깊이, 테이블

이송속도에 대한 표면거칠기의 관계를 비트리파이드 CBN 휠에 대하여 보여주고 있다.

Fig. 7은 이송속도 1mm/sec와 연삭깊이 5 $\mu\text{m}$ 에서의 연삭속도와 표면 거칠기의 관계를 나타내고 있는데, 연삭속도가 증가되면 표면 거칠기는 양호해지는 것을 알 수 있다. STD11, STS304는 휠 속도가 증가할수록 표면 거칠기의 변화가 완만한 반면에 다른 4가지의 공작물에서는 휠 속도 30m/sec와 40m/sec에서 급격한 변화가 있는데, 이것은 STD11, STS304와 STB1, SC360, SM20C, STC7의 물성치와 관계되는 것으로 사료된다. 여기에서 휠 속도가 60m/sec일 때, 표면 거칠기 STD11은 0.73 $\mu\text{m}$ , STB1은 0.912 $\mu\text{m}$ , STS304는 0.738 $\mu\text{m}$ , SC360은 0.889 $\mu\text{m}$ , SM20C는 0.874 $\mu\text{m}$ , STC7은 0.902 $\mu\text{m}$ 이다.

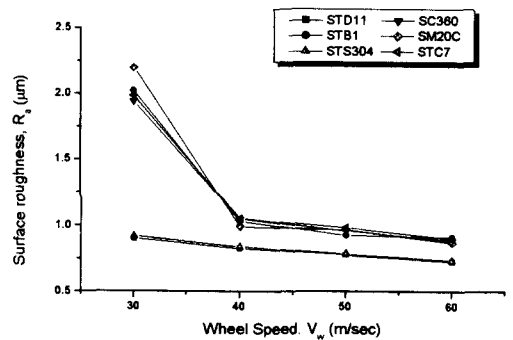


Fig. 7 Relation between surf roughness and wheel speed vitrified-bond CBN ( $F:1\text{mm/sec}$ ,  $A:5\mu\text{m}$ )

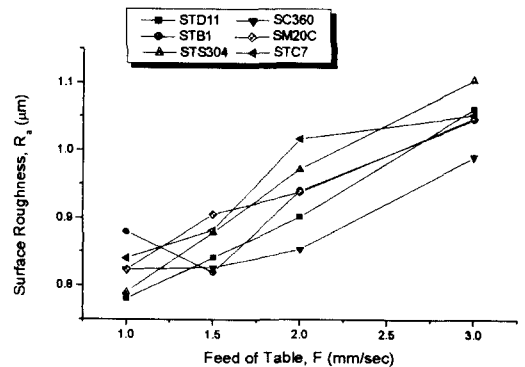


Fig. 8 Relation between surface roughness and feed of table vitrified-bond CBN ( $V_w:60\text{m/sec}$ ,  $A:15\mu\text{m}$ )

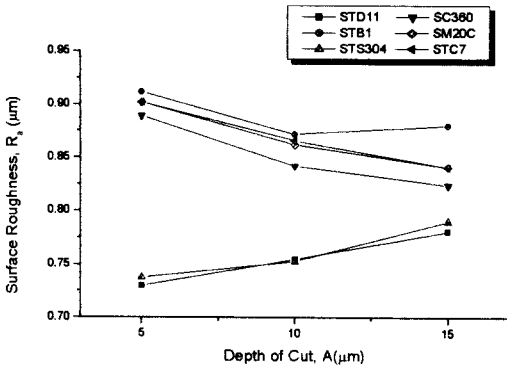


Fig. 9 Relation between surf roughness and depth of cut vtrified-bond CBN ( $V_w$ :60m/sec, F:1mm/sec)

Fig. 8 은 휠 속도 60m/sec 와 연삭깊이 15μm 에서의 공작물 이송속도와 표면 거칠기의 관계를 나타내고 있다. 공작물 이송속도가 증가함에 따라 표면 거칠기 또한 전반적으로 나빠지고 있는 것을 볼 수 있다. 본 그래프에서 STB1 이 이송속도 1.5mm/sec 에서 표면 거칠기가 양호한 것으로 되어 있다. 이것은 STB1 이 함유하고 있는 물질 중에 불순물로 인한 것으로 사료된다. 휠 속도 60m/sec, 연삭깊이 15μm, 이송속도 1mm/sec 에서의 표면 거칠기를 보면 STD11 은 0.781μm, STB1 은 0.88μm, STS304 는 0.79μm, SC360 은 0.824μm, SM20C 는 0.824μm, STC7 은 0.841μm 이다.

Fig. 9 는 휠 속도 60m/sec 와 이송속도 1mm/sec 에서의 연삭깊이와 표면 거칠기의 관계를 나타내고 있다. 연삭깊이가 증가할수록 STD11, STS304 는 표면 거칠기가 나빠지는 경향이 있으나 다른 4 가지의 공작물에 대해서는 거칠기가 양호해지는 경향을 보인다. 그러나 STD11, STS304 의 거칠기는 다른 공작물의 거칠기 값보다 양호하다. 또, STD11, STS304 가 다른 공작물들과의 차이를 보이는 것은 Fig.7 에서의 현상과 관계함을 알 수 있다. 연삭깊이나 테이블 이송속도가 증가 할수록 거칠기는 계속적으로 상승하는 경향을 보이고 있는데, 이것은 평균 단면적이 커짐으로 인해 슷돌의 마멸량이 커져서 입자가 슷돌의 공작물 사이에 개재하여 다듬질면을 불량하게 하는 것이다. 표면 거칠기에 대한 영향은 연삭깊이 보다 테이블 이송속도의 변화에 의해서 더 많은 영향을 받는다는 것을 알 수가 있다.

### 3.3 각 재료의 경도와 연삭저항 및 표면 거칠기의 비교

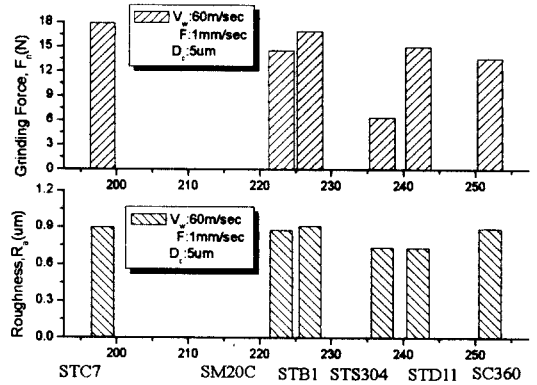


Fig. 10 Relation between grinding force and surf roughness for hardness

Fig. 10 은 휠 속도 60m/sec, 연삭깊이 5μm, 테이블 이송속도 1mm/sec 로 하였을 때 각 시편의 경도에 있어서 연삭저항과 표면 거칠기의 그래프이다. 본 그래프는 Table 1 을 참고하여, 경도의 순서로 나타내었다. 경도와 연삭저항과의 관계를 보면, 경도가 작은 STC7 (198H<sub>v</sub>)와 경도가 높은 STS304(237H<sub>v</sub>)를 서로 비교해 보면 STC7 이 STS304 보다 약 3 배 가량 크고, 전반적으로 경도가 커질수록 연삭저항은 감소하는 경향을 보인다. 하지만, 표면 거칠기면에서 본다면, STS304 와 STD11 이 다소 양호한 상태를 나타내지만 전반적으로 거칠기값이 비슷한 경향을 보인다.

### 3.4 연삭깊이와 테이블 이송속도에서의 금속 제거율에 대한 고찰

원통연삭은 평면 연삭과는 계산식이 다르며, 그에 대한 금속제거율식은 다음과 같다.

$$Z = \pi \cdot d \cdot A \cdot F \text{ (mm}^3\text{/mm-sec)}$$

$d$  : Diameter of workpiece

$A$  : Depth of grinding

$F$  : The feed of table

위의 식에서 보는 바와 같이 금속제거율(Z)은 공작물 직경, 연삭깊이, 테이블 이송속도와 관계가 있다.

Fig. 11, Fig. 12 에서 연삭깊이가 크고 테이블 이송속도가 작은 경우에서 표면 거칠기가 더

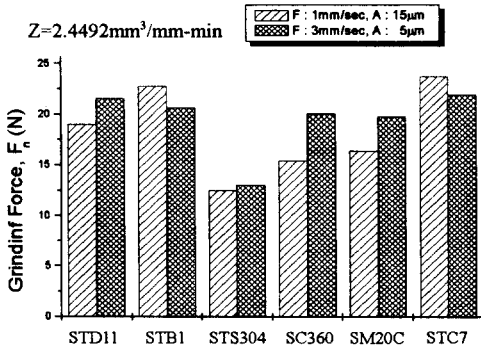


Fig. 11 Grinding force at the same removal rate (V<sub>w</sub> : 60m/sec)

양호하게 나타난다. 이것은 연삭저항과 비교하여 보면, 연삭에너지의 감소는 표면 거칠기의 값을 양호하게 만든다. 따라서 비트리파이드 본드 휠은 절삭현상이 많음을 알 수가 있다.

이를 통하여 알 수 있는 것은 동일한 생산성에 대하여 표면 거칠기를 향상시키기 위해서 연삭깊이를 높이고, 테이블 이송속도를 낮추는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다. 바꾸어 말하면 요구되는 표면 거칠기내에서 생산성을 높이기 위해서는 테이블 이송속도 보다는 연삭깊이를 증가 시키는 것이 유리하다는 것을 의미한다.

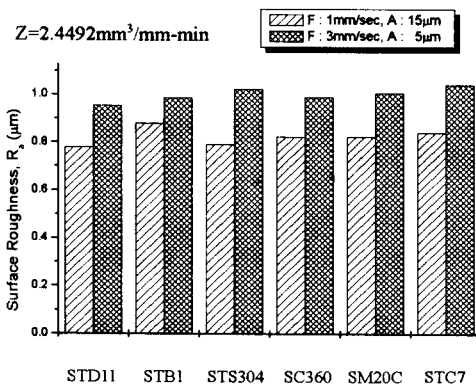


Fig. 12 Surface roughness at the same removal rate (V<sub>w</sub> : 60m/sec)

#### 4. 결론

본 연구는 비트리파이드 본드 CBN 휠의 연삭가공 특성을 알기 위하여 STD11, STB1,

STS304, SC360, SM20C, STC7 을 건식 횡방향 왕복원통연삭기를 하였다. 연삭속도, 공작물속도, 연삭깊이, 테이블 이송속도를 주요변수로 하여 각각의 연삭조건에 따른 연삭저항, 표면 거칠기, 금속제거량을 측정, 비교하여 공작물에 미치는 영향을 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻는다.

- 1) 각 공작물에 대한 연삭저항은 휠 속도가 빠를수록 감소하며, 연삭깊이가 깊을수록, 테이블 이송속도가 빠를수록 증가한다. 따라서 휠 속도 60m/sec, 연삭깊이 5µm 에서 각각의 공작물에 대한 연삭저항이 가장 작았다.
- 2) 각 공작물에 대한 표면 거칠기를 보면 휠 속도가 빠를수록, 이송속도가 느릴수록, 연삭깊이가 깊을수록 양호하여지나, STD11 과 STS304 는 연삭깊이가 깊을수록 표면거칠기는 불량해진다.
- 3) 경도에 대한 연삭저항과 표면 거칠기에서 경도가 높을수록 연삭저항은 계속적으로 감소하는 경향을 보이는 반면, 표면 거칠기는 큰 차이가 없었다.
- 4) 생산성 측면에 있어 동일한 금속제거율에 대하여 연삭깊이가 깊고, 테이블 이송속도가 느린 것이 표면 거칠기가 더 양호하며, 연삭저항은 연삭깊이와 테이블 이송속도에 관계되지만 우선적으로, 경도가 낮으면 연삭깊이가 작고 이송속도가 빠른 것이, 경도가 높으면 연삭깊이가 높고 이송속도가 느린 것이 연삭저항이 더 작게 나타난다.

#### 참고문헌

1. 원중호, "CBN 휠의 고속연삭에서의 가공특성에 관한 연구", 고려대학교 박사 학위논문, pp.1, 53-93, 1990.
2. 신한 다이아몬드공업(주), "고정도화 다이아몬드 공구기술", 기계기술, pp160-161, 1997.
3. John A. Webster, Zbigniew prusak, Ioan D. Marinescu, "Tribological Aspects of Vitrified-bond CBN Wheel Truing and Dressing Process", Proceeding of the Manufacturing Engineering, pp.534-539, 1996.
4. 臼井英治, "切削·研削加功學 下", 共立出版株式会社, pp. 105-117, 1971.
5. Shih A. J., Grant M. B., Yjunshonis T. M., "Vitreous bond CBN High Speed and High Material Removal Rate Grinding of Ceramic", Precision Engineering, pp. 622-625, 1998.